

PENGARUH BENTUK DIFUSER TERHADAP TRANSFER OKSIGEN

Edi Haryanto, Irene Arum AS, Retno Susetyaningsih

Staf Pengajar di STTL "YLH" Yogyakarta

ABSTRACT

A study of oxygen transfer is develop to investigate the correlation of diffuser type (tube diffuser) to oxygen transfer in a liquid using four various of diffuser type; one line, four crosswise, eight crosswise and combine of four crosswise with four square. Tube diameter is 0,5 inch, 80 cm of length, with diameter of pressure stabilizer is 10 cm. Each tube consists of 24's holes (diameter 0,5 mm each). Oxygen transfer is conducted in a tank using 500 liter of tap water. Air flow-rate applied is 17,43 liter per minute. The study shown one line diffuser give $Kla = 2,27/hr$, oxygen transfer efficiency 3,05 %, linier equation $\ln(Cs-Ct)=2,193-2,27t$ and coefficient of regression $r = -0,99$; four crosswise tube diffuser give $Kla = 2,25/hr$, oxygen transfer efficiency 3,03 %, linier equation $\ln(Cs-Ct)=2,161-2,25t$ and coefficient of regression $r = -1$; eighth crosswise diffuser give $Kla = 1,614/hr$, oxygen transfer efficiency 2,09 %, linier equation $\ln(Cs-Ct)=2,044-1,614t$ and coefficient of regression $r = -0,99$; combination of four crosswise with four square tube diffuser diffuser give $Kla = 1,80/hr$, oxygen transfer efficiency 2,80 %, linier equation $\ln(Cs-Ct)=2,02-1,80t$ and coefficient of regression $r = -0,90$.

Key words: oxygen transfer, diffuser type

ABSTRAK

Penelitian tentang hubungan bentuk diffuser (*tube diffuser type*) terhadap perpindahan massa oksigen dilakukan dengan mengambil variasi bentuk difuser satu baris, silang empat, silang delapan, kombinasi silang dan segi empat. Tetap dipilih untuk masing-masing bentuk difuser adalah jumlah lubang sama yaitu 24 buah, diameter lubang ½ mm, panjang pipa difuser 80 cm dengan penstabil tekanan berdiameter 10 cm, diameter pipa difuser ½ in., kecepatan aliran udara 17,43 l/menit, volume air 500 lt dan diameter bawah aerator 90 cm. Hasil penelitian menunjukkan untuk bentuk difuser satu garis memberikan $Kla = 2,27/jam$ dengan efisiensi transfer oksigen = 3,05% dan memberikan persamaan garis lurus $\ln(Cs-Ct)=2,193-2,27t$ dengan $r=-0,99$; bentuk silang empat $Kla=2,25/jam$ dengan efisiensi transer 3,03% dengan persamaan $\ln(Cs-Ct)=2,161-2,25t$, $r=-1$; bentuk silang delapan $KLa=1,614/jam$, efisiensi tranfer oksigen=2,09% dan memberikan persamaan $\ln(Cs-C)=2,044-1,614t$, $r=-0,99$; bentuk difuser kombinasi $Kla=1,80/jam$, efisiensi transfer 2,80%, persamaan garis $\ln(Cs-Ct)=2,02-1,80t$, $r=-0,98$.

Kata kunci : transfer oksigen, bentuk difuser

PENDAHULUAN

Pada pengolahan limbah cair organik umumnya digunakan pengolahan secara biokimia, yaitu menggunakan mikroorganisme pengurai yang sengaja ditumbuhkan. Proses dapat berjalan secara aerobik maupun anaerobik. Agar pertumbuhan mikroorganisme aerobik dapat berjalan optimal, dibutuhkan oksigen oksigen yang cukup. Untuk keperluan ini biasanya dipenuhi dengan cara menambahkan oksigen yang dikenal sebagai aerasi.

Untuk menentukan berapa kebutuhan oksigen, berapa lama proses tersebut berlangsung, dibutuhkan pengertian mengenai perpindahan (transfer) massa dari gas ke cairan atau perpindahan oksigen dari udara maupun oksigen murni ke limbah cair. Transfer oksigen didefinisikan sebagai proses perpindahan oksigen dari satu fase ke fase lain, biasanya dari fase gas ke fase cair.

Tingkat keberhasilan transfer oksigen dipengaruhi oleh tipe-tipe aerator yang digunakan. Ada beberapa tipe aerator seperti; *diffused air*, *mechanical surface*, dan *submerged turbine*. Pemilihan tipe *diffused air* didasarkan pada mudahnya perawatan,

efisiensi transfer oksigen tinggi dan ekonomis (Miorin, F.M, 1977). Dengan dasar alasan tersebut di atas, masalah transfer oksigen sangat menarik diteliti dan dikembangkan lebih lanjut.

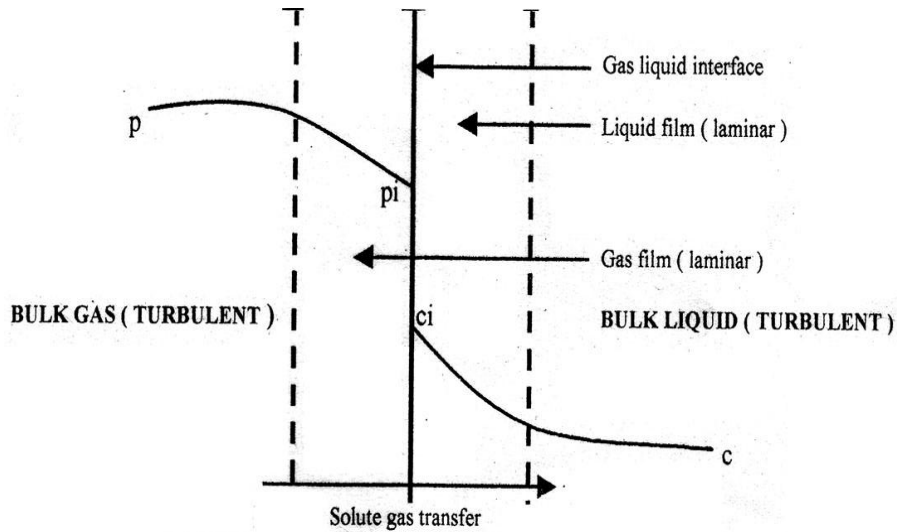
TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari hubungan bentuk difuser terhadap transfer oksigen dalam air.

TEORI

Transfer oksigen ke dalam cairan merupakan faktor penting dalam pengolahan limbah cair secara biokimia-aerobik. Teori *two-film* didasarkan pada model fisik dimana dua lapisan film berada pada bidang kontak gas-cair. Gas (oksigen) maupun liquid (limbah cair) dibayangkan memiliki lapisan tipis pada permukaannya (*film layer*) yang akan menghambat perpindahan massa. Ini menyebabkan massa oksigen harus melewati dua lapisan tersebut yang merupakan tahanan (*resistance*) sehingga konsentrasi gas (oksigen) dalam *bulk* gas (udara) tidak akan sama dengan konsentrasi pada permukaan cairan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.

PENGARUH BENTUK DIFUSER TERHADAP TRANSFER OKSIGEN
(Edi Haryanto, Irene Arum AS, Retno Susetyaningsih)



Gambar 1. Skematik mekanisme transfer gas

Pada gambar 1. ditunjukkan profil akan menurun baik untuk tekanan parsial maupun konsentrasi dari gas (oksigen), pada fase gas maupun fase cair. Pada saat melewati lapisan film dari gas, tekanan parsial oksigen berkurang dibanding dengan tekanan pada bulk phase sebagai akibat adanya tahanan dari lapisan film. Begitu juga dengan konsentrasi oksigen tersebut juga berkurang pada saat melewati lapisan film liquid sebagai akibat adanya tahanan dari lapisan film

tersebut. Hubungan dari kedua kejadian tersebut dapat dijelaskan dari perpindahan massa ke cairan secara umum yang akan dipengaruhi oleh:

1. Temperatur
2. Kecepatan udara
3. Ukuran gelembung
4. Letak difuser
5. Turbulensi
6. Kedalaman cairan
7. Karakter limbah

Kinetika aerasi dinyatakan :

$$dc/dt = KLa(Cs-C).....1)$$

Dengan:

dc/dt: gradien konsentrasi

KLa : koefisien transer overall, t⁻¹

Cs: konsentrasi oksigen jenuh, m/l³

C: konsentrasi oksigen aktual, m/l³

Dengan integrasi persamaan di atas menjadi

$$\ln(Cs-Ct) = \ln(Cs-Co)-KLa.t2)$$

atau

$$\log(Cs-Ct)=\log(Cs-Ct)-KLa.t/2,33)$$

Dengan membuat grafik antara ln(Cs-Ct) dengan t akan didapat nilai KLa sebagai slope.

Nilai KLa didapat dari persamaan berikut:

$$KLa = \frac{1}{t_1 - t_0} \ln \frac{(C_s - C_o)}{(C_s - C_t)}4)$$

atau

$$KLa = 2,3 \frac{1}{t_1 - t_0} \log \frac{(C_s - C_o)}{(C_s - C_t)}5)$$

Co dan C1 adalah konsentrasi oksigen terlarut pada t₀ dan t₁.

Efisiensi transfer oksigen didefinisikan sebagai ;

$$\text{Efisiensi} = [\text{berat O}_2 \text{ diadsorbsi/waktu}] / [\text{berat O}_2 \text{ disuplai/waktu}] \times 100 \%$$

$$= [KLa \times V \times Cs, m] / [Gs \times 0,232 \times \rho] 6)$$

dengan :

$$\rho = 0,0808 [pb'/14,7] \times [492/Tf] KLa \times V \times Cs, m = No$$

= SOR

= *Standard Oxygen Rating* dalam air bersih pada 20°C7)

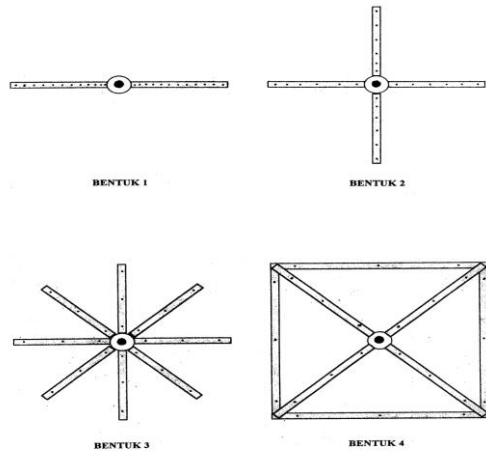
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan mengambil bentuk difuser sebagai variabel bebas dan transfer oksigen ke dalam air sebagai variabel terikat.

Bentuk difuser yang digunakan adalah bentuk tabung satu garis, silang empat, silang delapan, kombinasi silang dan segi empat. Gambar masing-masing bentuk dapat dilihat pada gambar 2.

PENGARUH BENTUK DIFUSER TERHADAP TRANSFER OKSIGEN
(Edi Haryanto, Irene Arum AS, Retno Susetyaningsih)

Tetapan penelitian dipilih untuk masing-masing bentuk difuser adalah jumlah lubang sebanyak 24 buah, tekanan berdiameter 10 cm, diameter tabung difuser 0,5 in., kecepatan aliran udara 17,43 liter/menit, volume air 500 l dan diameter bawah aerator 90 cm.

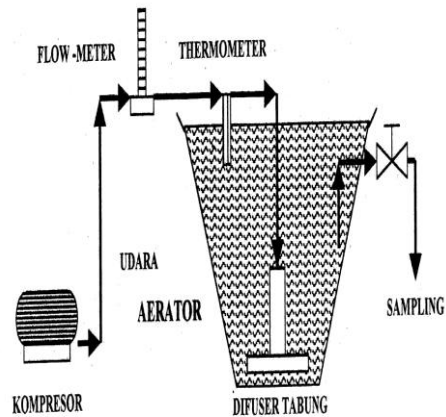


Gambar 2. Bentuk Difuser Tabung

Proses perpindahan massa oksigen dilakukan secara “semi kontinyu” di dalam air bersih dengan konsentrasi awal oksigen terlarut 0 mg/l.

Parameter penelitian adalah oksigen terlarut di dalam air dan dianalisa menggunakan metode modifikasi Winkler

Alat penelitian yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian alat penelitian

Tahap penelitian :

1. Air bersih dalam bak aerasi ditambah Na_2SO_3 hingga didapat oksigen terlarutnya 0 mg/l.

2. Kompresor dihidupkan, kemudian dilakukan pengaturan aliran udara pada kecepatan 17,43 l/menit.
3. Pengambilan sampel air dari bak aerasi pada setengah kedalaman air, kemudian dianalisa oksigen terlarutnya. Pengambilan sampel dilakukan setiap waktu tertentu (5-10 menit) dan dihentikan saat dicapai konsentrasi oksigen terlarut relatif konstan.
4. Dibuat grafik regresi linier hubungan antara $\ln(C_s - C_t)$ dengan waktu aerasi t .
5. Dihitung harga Kla , koefisien regresi (r) dan efisiensi transfer oksigen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian antara waktu aerasi (t) dengan konsentrasi oksigen terlarut (C_t) pada berbagai bentuk difuser dapat dilihat pada tabel 1 sampai dengan 4 berikut ini.

Tabel 1. Hasil analisa waktu aerasi dan oksigen terlarut pada variasi bentuk diffuser satu

t (menit)	5	10	15	20	25	35	45	55	-	90	100
C_t (mg/l)	2,4	2,73	3,68	4,64	5,28	6,24	7,52	7,84	-	8,96	8,96
T (°C)	26	26	26	26	26	26	26	26	-	26	26
$\ln C_s$	-	-	-	-	-	-		-	-	2,193	2,193
$\ln (C_s - C_t)$	1,881	1,831	1,664	1,463	1,303	1,001	0,365	0,113		-	-

PENGARUH BENTUK DIFUSER TERHADAP TRANSFER OKSIGEN
(*Edi Haryanto, Irene Arum AS, Retno Susetyaningsih*)

Tabel 2. Hasil analisa waktu aerasi dan oksigen terlarut pada variasi bentuk diffuser dua

T (menit)	5	10	15	20	25	35	45	55	-	85	95
Ct (mg/l)	1,6	2,56	2,88	4,8	5,12	6,4	7,2	7,68	-	8,68	8,68
T (°C)	27	27	27	27	27	27	27	27	-	27	27
In Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,161	2,161
In (Cs-Ct)	1,957	1,812	1,758	1,356	1,270	0,824	0,392	0	-	-	-

Tabel 3. Hasil analisa waktu aerasi dan oksigen terlarut pada variasi bentuk diffuser tiga

T (menit)	5	10	15	20	25	35	45	55	-	80	90
Ct (mg/l)	1,28	1,92	2,5	3,04	3,84	4,86	5,44	5,6	-	7,72	7,72
T (°C)	29	29	29	29	29	29	29	29	-	29	29
In Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,044	2,044
In (Cs-Ct)	1,868	1,758	1,652	1,543	1,356	1,051	0,824	0,751	-	-	-

Tabel 4. Hasil analisa waktu aerasi dan oksigen terlarut pada variasi bentuk diffuser empat

T (menit)	5	10	15	20	25	35	45	55	-	80	90
Ct (mg/l)	2,08	2,88	3,2	3,36	4,16	4,8	5,28	5,44	-	7,54	7,54
T (°C)	29	29	29	29	29	29	29	29	-	29	29
ln Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,02	2,02
ln (Cs-Ct)	1,697	1,539	1,468	1,430	1,218	1,008	0,815	0,747	-	-	-

Data dari tabel 1 sampai table 4 dibuat grafik hubungan antara Ln (Cs-Ct) dengan waktu (t). Dari grafik ini dapat diketahui persamaan garis lurus

serta harga KLa-nya. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada table 5 berikut ini.

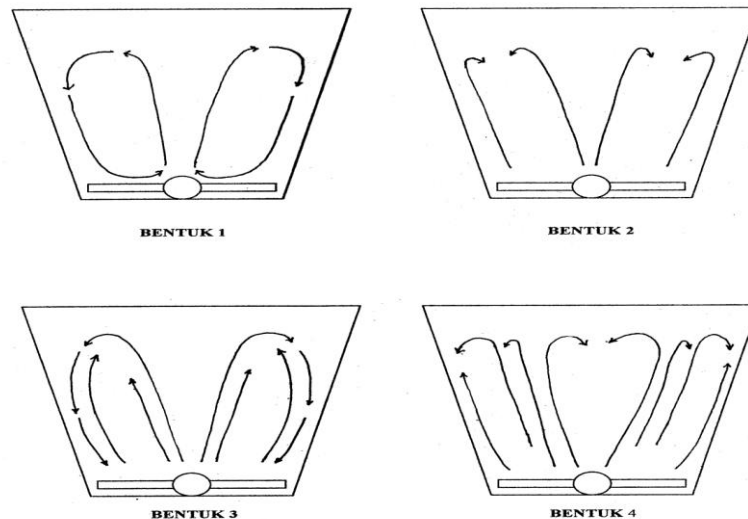
Tabel 5. Rekapitulasi hasil perhitungan

Variasi bentuk diffuser	Nilai KLa/jam	ln Cs	Efisiensi transfer O ₂ (%)	Persamaan garis lurus	Koefisien regresi
Bentuk 1	2,270	2,193	3,05	$\ln (C-Ct) = 2,193 - 2,27 t$	-0,99
Bentuk 2	2,250	2,161	3,03	$\ln (C-Ct) = 2,161 - 2,25 t$	-1,00
Bentuk 3	1,614	2,044	2,09	$\ln (C-Ct) = 2,044 - 1,164 t$	-0,99
Bentuk 4	1,800	2,020	2,80	$\ln (C-Ct) = 2,020 - 1,80 t$	-0,98

PENGARUH BENTUK DIFUSER TERHADAP TRANSFER OKSIGEN
(*Edi Haryanto, Irene Arum AS, Retno Susetyaningsih*)

Hasil penelitian menunjukkan bentuk diffuser 1 (berlengan dua dengan masing-masing lengan terdapat 12 lubang) memberikan hasil terbaik ditunjukkan dengan nilai efisiensi transfer O_2 dan Kla terbesar, yaitu 3,05 % dan 2,27/jam. Efisiensi transfer O_2 dan Kla pada bentuk diffuser 2 dan 3 semakin turun, tetapi pada bentuk diffuser 4 mengalami kenaikan kembali.

Ini disebabkan karena terjadinya pola sirkulasi air di dalam bak aerator yang berperan penting terhadap tinggi rendahnya efisiensi transfer O_2 maupun Kla . Pola sirkulasi air di dalam bak aerator dapat digambarkan seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Pola sirkulasi air di dalam bak aerator menurut bentuk diffuser

Dari gambaran pola sirkulasi terlihat bahwa bentuk diffuser 1 memiliki pola sirkulasi yang tidak banyak kehilangan tenaga kinetik dari aliran air di dalam aerator antar lengan diffuser. Dengan demikian dapat dikatakan pola ini menyebabkan sirkulasi air dengan hambatan terkecil, sehingga dengan lancarnya sirkulasi air, kontak O₂ dengan air semakin baik. Semakin sering molekul O₂ kontak dengan molekul air, maka pelarutan oksigen ke dalam air semakin besar.

Kerapatan lengan (lubang) pada luas permukaan air dan kedalaman air sebagai lintasan yang relative pendek memberikan pengaruh terhadap efisiensi transfer O₂ dan K_{la} karena kehilangan tenaga kinetik dari sirkulasi air terjadi pada permukaan air aerator.

Kehilangan tenaga kinetik sirkulasi air pada permukaan air aerator menyebabkan turbulensi terbesar terjadi di permukaan air, sedangkan efek turbulensi merupakan factor yang mempengaruhi tinggi rendahnya efisiensi transfer O₂ dan K_{la}. Untuk itu perlu dikaji lebih lanjut kerapatan lubang diffuser pada luas permukaan air yang optimum, sehingga memberikan efek turbulensi yang menyeluruh dan meminimalkan

kehilangan tenaga kinetik sirkulasi air yang dapat dirumuskan sebagai berikut
Tenaga kinetik = $[V^2]/2g$

$$\text{Headloss (HI)} = f [L/D] [V^2/2g]$$

$$N_{Re} = \rho V D / \mu ; N_{Re} > 4000 \text{ arus turbulen}$$

Dimana :

- V = kecepatan aliran
- μ = viskositas dinamik
- g = gaya gravitasi
- L = panjang lintasan
- D = diameter lintasan
- ρ = densitas air
- f = faktor gesekan

Besaran tidak berdimensi yang disebut "bilangan Reynold" merupakan fungsi kecepatan (V), sehingga besar kecilnya V akan memberikan identifikasi aliran tersebut leminar, transisi maupun turbulen.

Tenaga kinetik (gerak) merupakan fungsi kecepatan, sehingga kecepatan yang lebih besar akan memberikan tenaga gerak yang lebih besar dan sebaliknya. Dalam telaah penggelembungan udara, melalui difuser gelembung udara akan memberikan gaya dorong pada air

PENGARUH BENTUK DIFUSER TERHADAP TRANSFER OKSIGEN
(Edi Haryanto, Irene Arum AS, Retno Susetyaningsih)

sehingga akan membentuk pola aliran sebagai akibat adanya tenaga kinetik (gerak). Apabila kecepatan aliran udara tetap, berarti tenaga kinetik yang dihasilkan juga tetap. Dengan tenaga kinetik pada masing-masing lengan tetap dan terjadi benturan aliran dari pola sirkulasi terbentuk akan memperbesar faktor gesekan antar molekul air. Bertambah besarnya faktor gesekan antara molekul air akan memperbesar *headloss* (kehilangan tenaga). Akibat kehilangan tenaga kinetik inilah kecepatan sirkulasi air menjadi kecil (berkurang). Dengan berkurangnya kecepatan aliran memberikan arti bilangan Reynold menjadi semakin kecil, sehingga turbulensi berkurang dan berakibat turunnya efisiensi transfer O_2 dan K_La .

KESIMPULAN

1. Bentuk difuser berpengaruh terhadap perpindahan massa oksigen yang ditunjukkan dengan nilai transfer O_2 dan K_La .
2. Transfer O_2 dan K_La tertinggi didapat pada bentuk diffuser 1 (tabung satu garis) sebesar 3,05 % dan 2,27/jam dengan persamaan garis lurus $\ln(C-C_t) = 2,193 - 2,27 t$.

SARAN

1. Perlu pengkajian lebih lanjut kerapatan lubang diffuser pada luas permukaan air yang optimum.
2. Perlu pengkajian lebih lanjut pada rekayasa peralatan difuser sebagai mekanisme utama proses transfer oksigen khususnya untuk pengolahan limbah cair secara biologis aerobik.

PUSTAKA

- Anonim, 19894, Pengolahan Air Limbah Industri Organik, Bidang Kependudukan & Lingkungan Hidup ITS, Surabaya.
- Berthouex, PM, 1998, The Strategy of Pollutin Prevention and Control, Department of Civil and Environmental Engineering, Universitu of Wisconsin, Madison.
- Eckenfelder, Jr, W W, 1989, Industrial Water Pollution Control, 2nd ed., Mc Graw-Hill Book Co, New York'
- Hammer, MJ, 1971, Water and Wastewater Technology, 2nd ed, John Wiley & Sons, Inc, New York'
- Miorin, FM, et al, 1977, Wastewater Treatment Plant Design, joint Committee of The Water Pollution Control Federation and American

- Society of Civil Engineering,
Washington DC'
- Rich, GL, 1961, Unit Operation of
Sanitary Engineering, John
Wiley & Sons, Inc, London.
- Reynold, TD, 1982, Unit Operation and
Processes in Environmental
Engineering, Brooks/Cole
Engineering Division
monetary, California.
- Tjokrokusumo, 1999, Pengantar
Enjinering Lingkungan,
Sekolah Tinggi Teknik
Lingkungan YLH,
Yogyakarta.

